



---

*Gens, Wolfgang; Hülsenberg, Dagmar; Bock, Bernhardt :*

***Rechnergesteuerter asynchroner Drehstromstellantrieb für einen Roboter zur Glasbearbeitung***

---

*Zuerst erschienen in:*

Feingerätetechnik : techn.-wiss. Zeitschr. für Feinmechanik, Optik u. Meßtechnik / Hrsg. Deutsche Gesellschaft für Messtechnik und Automatisierung (DGMA) in der Kammer der Technik. -  
Berlin : Verl. Technik, ISSN 0014-9683, 37. Jg. (1988), H.7, S. 294 - 296

# Rechnergesteuerter asynchroner Drehstromstellantrieb für einen Roboter zur Glasbearbeitung

Prof. Dr. sc. techn. W. Gens

Technische Hochschule Ilmenau, Sektion Elektrotechnik

Prof. Dr. Dr. D. Hülsenberg, Dr.-Ing. B. Bock

Technische Hochschule Ilmenau, Sektion Gerätetechnik

Das manuelle Skalieren von Glaspipetten ist gekennzeichnet durch einen hohen Aufwand an konzentrierter, aber monotoner Arbeit. Das Skalieren wird im VEB Werk für Technisches Glas Ilmenau seit 1986 von einem Roboter ausgeführt. An der Realisierung des Roboters war ein von den Verfassern geleitetes Kollektiv der TH Ilmenau maßgeblich beteiligt.

## 1. Antriebsaufgaben und -konzept [2]

Im vorliegenden Fall ist von Interesse, daß dieser Roboter drei von einander unabhängige eindimensionale Positioniervorgänge auszuführen hat. Das betrifft das ein- und zweistufige Positionieren des Kolbens einer Präzisionsdosierpumpe, das Positionieren einer Kennzeichnungseinrichtung und die Drehpositionierung eines Transportrads. Die beiden zuerst genannten Vorgänge sind technologisch so konzipiert worden, daß sie zeitlich alternativ verlaufen. Sie sind mit Hilfsbewegungen gekoppelt, die im wesentlichen zur Fixierung der Nullpositionen, von denen aus die Positionierwege gezählt werden, dienen.

### 1.1. Positioniervorgänge Eichen und Dosieren

Bei einer Präzisionsdosierpumpe ist, sofern die notwendigen Randbedingungen eingehalten werden, der Verfahrenweg  $\Delta S$  des Kolbens der geförderten Flüssigkeitsmenge  $\Delta Q$  streng proportional. Im vorliegenden Fall sind periodisch ein Eichvorgang und daran anschließend mehrere Dosiervorgänge auszuführen. Der Eichvorgang setzt sich aus dem „Nullen“, d. h. dem Fixieren der Nullposition  $S_0$  für den Kolbenverfahrweg mit Schleichgeschwindigkeit, wodurch zugleich ein vorhandenes Spiel in der Mechanik kompensiert wird, und dem eigentlichen Eichen zusammen. Bei letzterem wird von einer Mutterpipette  $P_{M1}$  das gezielte Flüssigkeitsvolumen  $\Delta Q_1^*$  optoelektronisch überwacht bis zu einer Eichmarke abgezogen und damit der Sollverfahrweg  $\Delta S_1^*$  ( $\Delta Q_1^*$ ) des Kolbens für die anschließende Dosierung festgelegt. Die Verfahrensgeschwindigkeit muß adaptiv in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Flüssigkeitsstand in der Mutterpipette und deren Eichmarke reduziert werden, damit sich der Flüssigkeitsstand genügend langsam und aperiodisch an die Eichmarke annähert.

$S_1^*$  wird mit Hilfe eines inkrementalen rotatorischen Gebers indirekt erfaßt und abge-

speichert. Danach wird der Kolben in die Ausgangsposition gefahren. Der sich anschließende Dosiervorgang besteht aus dem bereits erläuterten Nullen und dem Abziehen der Flüssigkeitsmenge  $\Delta Q_1^*$  aus der zu skalierenden, zuvor mit Eichflüssigkeit gefüllten Pipette  $P_{11}$ . Zu diesem Zweck wird der Kolben der Dosierpumpe von der Nullposition  $S_0$  aus um  $\Delta S_1^*$  mit etwa dem gleichen Geschwindigkeits-Weg-Profil wie beim Eichen verfahren, um bei beiden Vorgängen weitgehend die gleichen Nachlaufverhältnisse der Eichflüssigkeit zu gewährleisten. Der Endflüssigkeitsstand  $h_1^*$  ( $\Delta Q_1^*$ ), der sich in der Pipette  $P_{11}$  eingestellt hat, wird ausgehend von einem Bezugspunkt  $H_0$  ( $\cong$  Auslaufende) optoelektronisch erfaßt und abgespeichert. Danach wird der Kolben in die Ausgangsposition bewegt, so daß nach dem erneuten Nullen der nächste Dosiervorgang vollzogen werden kann. Im Unterschied zu Vollpipetten sind bei Meßpipetten je ein zweistufiger Eich- und ein Dosiervorgang erforderlich, die jeweils mit einem einmaligen Nullen gekoppelt sind.

### 1.2. Positioniervorgang Kennzeichnen

Auf der Außenwand der Pipette  $P_{11}$  muß in Abstand  $h_1^*$  vom Auslaufende eine ringförmige Skaliermarke aufgebracht werden. Das übernimmt die bereits erwähnte Kennzeichnungseinrichtung. Der Positioniervorgang besteht darin, daß diese von einer Ausgangsposition mit Schleichgeschwindigkeit an einem in der Nullposition  $H_0$  angebrachten Initiator vorbeibewegt wird und danach, von hier aus gezählt, die Sollposition  $h_1^*$  mit adaptiv gesteuerter Geschwindigkeit überschwingungsfrei angefahren wird. Nach Erreichen der Position  $h_1^*$  wird die Skaliermarke angebracht.

### 1.3. Rückstellvorgänge

Beide Funktionseinheiten werden nach Ausführung des Positioniervorgangs mit konstanter Drehzahl endschaltergesteuert und zeitlich alternativ in ihre Ausgangspositionen zurückbewegt.

### 1.4. Antriebskonzept

Bei der Auswahl eines geeigneten Antriebskonzeptes spielte der Zeitraum für die Beschaffbarkeit eines von den Parametern und der Funktion her geeigneten Antriebs eine wesentliche Rolle. Die Entscheidung fiel zu Gunsten eines rechnergesteuerten asynchronen

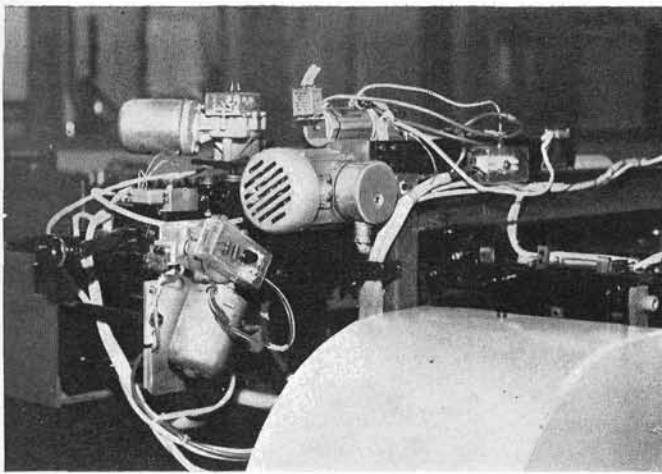


Bild 1. Versuchsaufbau eines Drehstromantriebs für eine Präzisionsdosierpumpe (Motor in Bildmitte mit geschlitzter Lüfterhaube)

Drehstromstellantriebs für die Dosierpumpe und die Kennzeichnungseinrichtung aus, an dessen Entwicklung zu diesem Zeitpunkt bereits gearbeitet wurde.

## 2. Gegenüberstellung von Gleich- und Wechselstromstellmotoren [3] [4]

In hochwertigen Stellantrieben ist gegenwärtig der permanenterregte Gleichstrommotor (PGM) vorherrschend. Es rücken jedoch die Wechselstromstellmotoren, d. h. der permanenterregte Drehstromsynchronmotor (PSM), der Elektronikmotor (oder bürstenloser Gleichstrommotor (EM), der Drehstromasynchronmotor mit Kurzschlußläufer (ASMK) und der mehrphasige Schrittmotor (SchM) immer mehr in den Vordergrund, wobei ihre Ausführung prinzipiell sowohl mit walzen- als auch mit scheibenförmigem Läufer möglich ist. Ihre Vorteile im Vergleich zum PGM liegen integral in einem günstigeren Verhältnis von Drehmoment zu Massenträgheitsmoment, von Leistung zu Masse und zu Volumen, in einem größeren maximalen Drehmoment und in einer geringeren elektrischen und thermischen

Empfindlichkeit, wobei jedoch wesentliche Unterschiede zwischen den einzelnen Motorenarten vorhanden sind. Die Nachteile des Wechselstromstellantriebs bestehen im höheren Aufwand insbesondere für den Leistungsteil, wobei auch hier beachtliche Unterschiede zwischen den Vertretern bestehen. Eine weitere im Entstehen begriffene Entwicklungsrichtung bilden die Drehstromdirektantriebe. Darunter sind langsam laufende Drehstromstellmotoren (PSM, EM) zu verstehen, die mit dem anzutreibenden Mechanismus direkt, d. h. ohne Getriebe, gekuppelt werden. Noch nicht befriedigend gelöste Probleme sind vor allem die relativ große Masse dieser Motoren sowie die Notwendigkeit eines langsam rotierenden hochauflösenden Meßsystems. Infolge dessen konzentrieren sich die wissenschaftlichen Arbeiten gegenwärtig auf den Einsatz von PSM, EM und ASMK in kompakten hochtourigen Stellantrieben.

## 3. Stellantrieb mit Drehstromasynchronmotor und Kurzschlußläufer

Obwohl der Stellantrieb mit ASMK z. T. ungünstigere Parameter (Verluste, Masse, Rotorerwärmung) und eine kompliziertere Steuerung im Vergleich zur Variante mit PSM aufweist, sind die Vorteile, die aus dem

nur auf normalwertige Werkstoffe für den Magnetkreis beschränkten Bedarf resultieren, nicht zu unterschätzen. Unter Berücksichtigung dieses Sachverhaltes und der Absicht, Erkenntnisse bei der Schaffung von Mikrorechnersteuerungen für wechselrichter gespeiste Drehstromantriebe zu erlangen, wurde 1982 an der TH Ilmenau mit der Untersuchung rechnergesteuerter asynchroner Stellantriebe begonnen [1]. Das Labormuster wurde an einem Robotermodell erprobt. Dieses wurde für den oben genannten Einsatzfall weiterentwickelt und angepaßt.

### 3.1. Ausgeführter asynchroner Drehstromstellantrieb

#### ■ Leistungsteil

Die Funktionseinheiten Dosierpumpe und Kennzeichnungseinrichtung werden jeweils über ein Präzisionsspindelgetriebe von einem Standardasynchronmotor mit Kurzschlußläufer, aber modifizierter Statorwicklung angetrieben (Bilder 1 und 2). Zur Erfassung der Istwerte von Drehwinkel und Drehzahl sind beide Motoren mit je einem inkrementalen Geber (IG 500) gekuppelt. Die Skaliertechnologie wurde so gestaltet, daß beide Motoren zeitlich alternativ arbeiten und somit über eine Schützensteuerung mit einem gemeinsamen Leistungs- und Informationsteil betrieben werden können. Der Leistungsteil (Bild 3) besteht aus einem ungesteuerten Gleichrichter (GR), einem Zwischenkreis mit konstanter nullsymmetrischer Gleichspannung ( $\pm 30$  V), einem dreiphasigen Transistorwechselrichter (WR) ( $f_p = 15$  kHz,  $U_{max} = 30$  V,  $I_{max} = 15$  A) und einer Umschalteneinrichtung, mit deren Hilfe jeder der beiden ASMK ( $M_I$  und  $M_{II}$ ) an den Wechselrichter oder an ein Drehstromnetz mit verminderter Spannung angeschlossen werden kann. Die niedrige Spannung zum Betrieb der ASMK wurde aus Aufwand- und Schutzgründen gewählt. Mit dem Transistorwechselrichter wird der jeweiligen ASMK über eine dreikanalige Zweipunktregelung der von der Lage- und Drehzahlregelung geforderte, zum Aufbau des Drehmoments notwendige Statorstrom eingeprägt.

Bild 2. Versuchsaufbau des asynchronen Drehstromantriebs der Kennzeichnungseinrichtung (im Bild unten der Drehstromasynchronmotor mit angekuppeltem inkrementalem Geber)

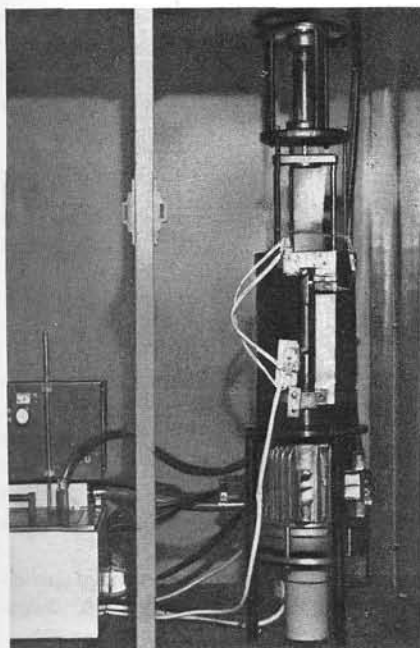
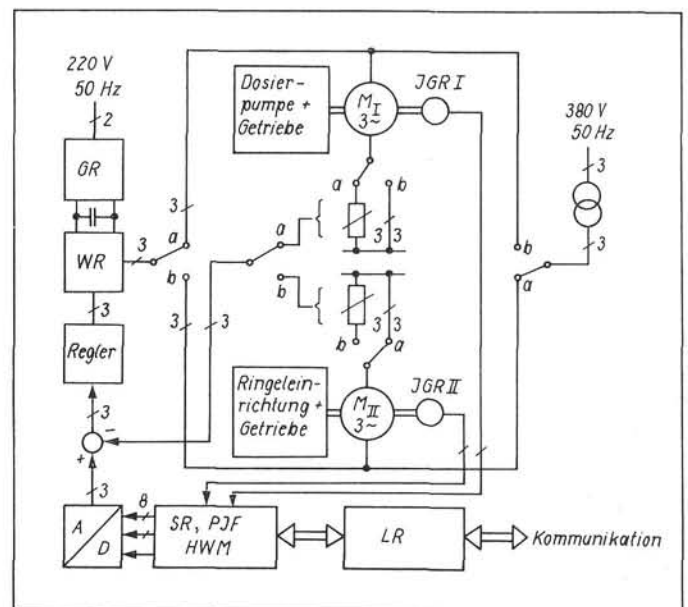
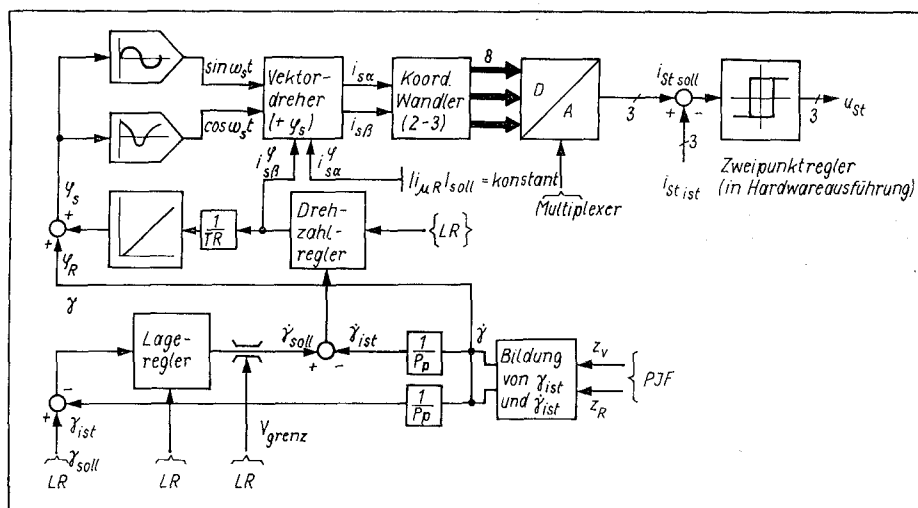


Bild 3. Leistungsteil des asynchronen Stellantriebs (GR Gleichrichter; WR Wechselrichter; SR Steuerrechner; PIF Prozeßinterface; HWM Hardwaremultiplizierer; LR Leitreechner) a) Positionieren der Dosierpumpe und Rücksetzen der Kennzeichnungseinrichtung in die Ausgangsposition b) Positionieren der Kennzeichnungseinrichtung und Rücksetzen der Dosierpumpe in die Ausgangsposition





**Bild 4. Struktur der Lage- und Drehzahlregelung nach dem Prinzip der Feldorientierung mit konstanter Rotorflußverkettung und dreikanaliger Statorstrom-Zweipunktregelung**

### ■ Informationsteil und seine wesentlichen Funktionen

Sämtliche Vorgaben für die Bewegungsvorgänge des Skalierroboters werden im Leit-rechner (LR) generiert. Er kann aufgrund seiner beschränkten Verarbeitungskapazität die Steuerung der Dosierpumpe und Kennzeichnungseinrichtung in Echtzeit nicht mit übernehmen. Dazu ist ein Steuerrechner (SR) vorgesehen. LR und SR sind beides Mikro-rechner mit einer ZRE auf der Basis des U 880. Sie sind über eine serienmäßig vorgesehene bidirektionale PIO-PIO-Kopplung nach dem Master-Slave-Prinzip verbunden, über die 1 Byte Statusmeldungen und 3 Byte Positionssollwerte übertragen werden können.

Die Hauptaufgabe des SR ist die Lageregelung mit steuerbarer Geschwindigkeitsbegrenzung der beiden ASMK nach dem Prinzip der Feldorientierung, und die gesteuerte Adaption der Regler (Bild 4). SR übernimmt weiterhin technologisch bedingte Steueraufgaben sowie den Empfang und die Ausgabe von Informationen. Dem SR zugeordnet sind ein Hardwaremultiplizierer HWM und ein Prozeßinterface PIF.

Beim Teilvorgang Eichen bekommt SR von LR den Startbefehl für den Antrieb  $I$  zum Verfahren des Kolbens mit Schleichgeschwindigkeit in die Nullposition  $S_0$  (Nullen) und daran anschließend mit adaptierter Geschwindigkeitsbegrenzung, bis der Flüssigkeitsstand in der Mutterpipette  $P_{1M}$  die Eichmarke erreicht hat. Die Geschwindigkeitsadaption wird von SR gesteuert. SR speichert den benötigten Verfahrensweg  $S_1^* (= \Delta Q_1^*)$  ab und meldet an LR den Abschluß des Eichvorgangs. Beim Teilvorgang Dosieren übergibt LR an SR den Befehl zum Nullen. Danach aktiviert SR den Positionssollwert  $\Delta S_1^*$  für die Dosierpumpe zum Abziehen von  $\Delta Q_1^*$  aus der gefüllten Pipette  $P_{11}$ . SR steuert das Nullen und Dosieren mit adaptierter Geschwindigkeit selbsttätig. Er meldet die optoelektronisch gemessene Position des Endflüssigkeitsstan-

des  $h_1^*$  ( $P_{11}$ ) und den Abschluß des Dosier-  
vorgangs an LR.

Beim Vorgang Kennzeichnen übergibt LR an SR den Positionssollwert  $h_1^* (P_{11})$  und den Startbefehl an den Antrieb 2 zum Verfahren der Kennzeichnungseinrichtung mit Schleichgeschwindigkeit bis zur Nullposition  $H_0$  und daran anschließend mit adaptierter Geschwindigkeitsbegrenzung bis zum Erreichen des Positionssollwertes  $h_1^* (P_{11})$ . Er meldet LR das Erreichen der Sollposition. Dieser leitet darauf den Kennzeichnungsvorgang ein.

Nachdem LR jeweils den Abschluß der Vorgänge Eichen, Dosieren und Kennzeichnen quittiert hat, werden beide Einrichtungen mit konstanter Geschwindigkeit (der Netzfrequenz entsprechend) in die Ausgangsposition bewegt und dort über Endschalter stillgesetzt.

### 3.2. Betriebserfahrungen

Das beschriebene Antriebssystem wird seit Mitte 1986 störungsfrei im Mehrschichtsystem genutzt. Es führt alle Funktionen zuverlässig und reproduzierbar aus.

#### 4. Zusammenfassung

In der Arbeit wird ein asynchroner rechnergesteuerter Präzisionsstellantrieb für einen Roboter zum Skalieren von Glaspipetten beschrieben. Ausgehend von der Charakterisierung der technologischen Vorgänge Dosieren und Kennzeichnen werden die erforderlichen Positionieraufgaben dargelegt. Es wird der prinzipielle Aufbau des Antriebs – Leistungs- und Informationsteil – vorgestellt.

## Literatur

- [1] Berger, G.; Gens, W.; Kornhaas, I.; Müller, R.: Die mikroprozessorgestützte antriebsnahe Informationsverarbeitung für einen asynchronen Drehstromstellantrieb. 28. Internat. Wiss. Kolloquium der TH Ilmenau 1983, Heft 1, Vortragsreihe A1/A2, S. 41-43
- [2] Rauer, St.; Völker, U.: Skalierroboter für Meß- und Vollpipetten. Dissertation (A) TH Ilmenau, 1985
- [3] Lessmeier, R.: Drehstromantriebe für Industrieroboter. VDI-Berichte 598, S. 219-230
- [4] Krishnan, R.: Selection Criteria for Servo Motor Drives, Auswahlkriterien für Stellantriebe. IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. IA-23, No. 2, March/April 1987, S. 270-275